谐波电能计量技术发展的回顾与展望

张春晖[1]　张震[2]

(1. 国 网 山 东 省 电 力 公 司 ， 山东 济南 250100;2. 华能济南黄台发电有限公司，山东 济南 250100)

摘　要：本文主要介绍了21世纪以来，中国的谐波电能计量技术的发展和应用。随着电网对谐波电能计量的需求在增加，全球首部谐波功率定义标准IEEE 1459---2000的出台，推动了谐波电能计量技术的发展。文本中还提到了谐波电能计量技术应用与发展的要素，包括电网谐波污染的范围扩大，不同用户采用何种原理的谐波电能计量仪表的困惑，以及国际上引进的谐波电能计量新技术等。此外，本文还介绍了国内自主开发的谐波电能计量技术成果，如0.2S级关口三相电能表、0.2S级三相谐波有功电能计量系列产品、三相基波有功电能计量产品等，以及采用Hilbert数字滤波器和低频滤波器计算谐波无功功率的计量芯片等前沿实用技术的开发。总体来说，本文概述了中国谐波电能计量技术的发展历程、应用现状和未来发展方向，以及相关的技术和产品成果。

关键词：谐波计量 电力系统

中图分类号：TM933.4

Harmonic energy metering technology development review and prospect

ZHANG Chunhui[1]　ZHANG Zhen[2]

(1. State Grid Shandong Elect Power Co Ltd,Jinan , Shandong 250100 , China;2.Huaneng Jinan Huangtai Power Generation Co. , Ltd. , Jinan , shandong 250100 , China)

Abstract:This article mainly introduces the development and application of harmonic energy metering technology in China since the 21st century. With the increasing demand for harmonic energy metering in the power grid, the introduction of the world's first harmonic power definition standard IEEE 1459---2000 has promoted the development of harmonic energy metering technology. The article also mentions the key factors in the application and development of harmonic energy metering technology, including the expansion of the scope of harmonic pollution in the power grid, confusion among different users as to which principle to adopt for harmonic energy metering meters, and the introduction of new harmonic energy metering technologies from abroad. In addition, this article also introduces the achievements of domestic independent development of harmonic energy metering technology, such as 0.2S level gateway three-phase energy meters, 0.2S level three-phase harmonic active energy metering series products, three-phase fundamental wave active energy metering products, as well as the development of cutting-edge practical technologies such as the calculation of harmonic reactive power using Hilbert digital filters and low-frequency filters. Overall, this article summarizes the development history, application status and future development direction of China's harmonic energy metering technology, as well as related technical and product achievements.

Key words : Harmonic energy metering　power industry

0　引言

进入 21 世纪以来，中国的谐波电能计量技术正在迅速发展起来，谐波功率定义由理论争议转向实用化讨论。随着谐波无功电能计量芯片、谐波/基波有功电能计量芯片陆续推出，进口、国产的三相谐波表、三相基波表的入网试用，电能计量技术实现由正弦波计量向非正弦波计量的重大跨越。

推进谐波电能计量技术应用与发展的要素

• 电网谐波污染日益严重，污染范围扩大。不但传统的冶炼企业、电气化铁路、采用大功率整流设备的产业，其电能质量问题十分突出；而且拥有小型整流设备、计算机、彩电、变频家电等中、小用电容量的企业、城镇居民用电小区，其电流谐波往往超过 50%。由此，不同用户采用何种原理的谐波电能计量仪表，成为一个困惑。
• 全球首部谐波功率定义标准 IEEE 1459---2000 出台。谐波功率理论包括定义与属性的争议，经历了几十年，新的学说不完善又引发出新的争议。IEEE1459---2000 正是总结历史上的理论争议，顺应谐波电能计量技术应用与发展的需求而推出的。
• 引进国际谐波电能计量新技术:谐波功率计量标准、在线谐波电能表、高性能集成电路等。
• 谐波电能计量溯源。近几年，进口的高准确度标准表以及多个国家的计量技术机构，可以提供谐波有功功率、谐波视在功率的检测报告。
• 适应电网扩大电力营销的新思路。如何利用现有电力计费政策，采用新型谐波电能计量技术改进电力营销，同时也为制订抑制谐波负荷的经济政策做准备。

本文将汇总叙述谐波电能计量技术的引进、国内自主开发成果，入网试用情况，并对谐波电能计量前沿实用技术的开发，作一些说明。

1、谐波电能计量技术的引进、国内自主开发成果

作为起步阶段，谐波电能计量技术的引进、国内自主开发，是探索与认识电力谐波负荷的分布、特征，积累测量数据的基本手段、技术先导。

1）谐波有功电能计量

— 0.2S 级关口三相电能表（进口产品）:具有谐波、基波有功电能计量功能，采样速率 256 点/周波，内部采用模块化结构，将多种模块按照不同的逻辑组合起来，即利用 A/D 采样测量模块、FFT 模块、谐波功率计算模块、积分模块，实现基波和 2---63 次谐波的各次谐波电能计量功能。

— 0.2S 级三相谐波有功电能计量系列产品（国产）:

• 采样速率 256 点/周波，采用 FFT 变换技术
• 第一种应用模式:基于数字乘法器原理的 0.2S 级三相谐波有功电能表，具有谐波分析功能，提供谐波有功电能和谐波有功功率潮流方向
• 第二种应用模式:基于正弦波功率理论的 0.5S 级三相基波有功电能表
• 第三种应用模式:采用基波电能和各次谐波电能的绝对值之和，计算出总的有功电能，具有谐波分析功能，提供谐波有功电能和谐波有功功率潮流方向

·测量 2---49 次电压、电流谐波的幅值、初相位。其中，2---21 次谐波的幅值准确度为 2%，初相位准确度为 2°。

— 0.2S 级三相基波有功电能计量产品（进口产品）

·谐波抑制能力:3 次谐波优于 30dB；5 次谐波优于 60dB；7 次谐波优于 90dB
·测量分相 2---50 次谐波电压、电流的幅值、初相位、功率
·测量分相和三相总的正向、反向和四象限基波有功电能，基波最大需量。

—三相谐波/基波有功电能计量芯片

·负荷动态范围:1000:1，有功功率线性度 0.1%
·采用带通滤波器实现基波分量与谐波分量的分离:计量基波电能时，采用低通滤波器，3 次以上谐波的衰减率达--30dB；计量谐波电能时，采用基波抑制器，基波衰减率--30dB 以上。

2）谐波无功电能计量

—采用 Hilbert 数字滤波器的三相谐波无功功率计量方法（专利技术）

·采用由半带滤波器设计的 IIR 型 Hilbert 数字滤波器
·在 40---960Hz 设计频率范围内，所有同次电压、电流谐波间移相 90°，最大相位误差不大于 0.025°
·由直接计量基波和各次谐波无功功率的总和，与仿真结果的相对误差为 0.020%
·该计量方法具有阶次较低、计算量和数据存储量较小的优点

注:国内已经设计生产采用 Hilbert 数字滤波器的谐波无功电能计量芯片

—采用低频滤波器计算谐波无功功率的计量芯片（进口产品）

·在电压和电流回路上，加上一个单极低频滤波器，其截止频率为 2Hz,远低于基波频率，它使基波和各次谐波相移 90°，随之有 20dB decade 的衰减:通过对信号周期的计算，完成跟随频率的增益衰减进行动态补偿，实现谐波无功功率计量
·经测试:电压回路加 10%、电流回路加 20%的 3 次谐波，初相位均为 30°，由低频滤波器计量的谐波无功功率，与由 IEEE 标准定义的谐波无功功率之间的误差为 1%。该芯片具有接近 Hilbert 转换的效果。

— 0.2S 级三相基波无功表（进口产品）

·计量分相和三相总的正向、反向及四象限基波无功电能
·谐波抑制能力，计量谐波电压、电流的功能，与上述 0.2S 级三相基波有功表（进口产品）相同。

3）谐波视在电能计量

0.2S 级低成本计量的三相多功能表（进口产品）

—有功电能计量为 0.2S 级，视在功率及电能计量的准确度为 2%

—视在功率采用两种不同算法

・第一种:矢量算法
矢量 VA=（有功功率^2+无功功率^2）的开方

・第二种:算术算法
算术 VA=Urms × Irms

如果存在谐波电流，谐波电压为零:

矢量 VA，不包含谐波影响
算术 VA，包含谐波影响
算术 VA，总是大于或等于矢量 VA

—功率因数计算

・功率因数等于有功功率/视在功率
・采用矢量 VA 的功率因数，不包含谐波影响
・采用算术 VA 的功率因数，包含谐波影响
・采用算术 VA 计算出的功率因数，总是小于或等于由矢量 VA 计算出的功率因数。

4）谐波电能计量标准

—欧洲

0.01 级三相标准电能表:具有谐波有功、无功、视在功率计量功能，基波测量 15---70Hz，谐波测量至 3500Hz。经国际上认可的计量技术机构检定:该标准表的基波、2---9 次谐波电压、电流的谐波含量为 30%，11---40 次谐波电压、电流的谐波含量为 5%的有功、视在功率的总不确定度为 90---150×10--6。

—美国

・电能表自动校准系统:在任意波形、谐波总含量 30%以下，电能计量准确度为±0.005---0.05%
・功率电能标准源:提供 7 种可选的方法，计算出非正弦波信号的无功功率。基波频率测量范围 16---850Hz，最大谐波频率 6kHz，输出 100 次谐波。谐波的加入，不会明显地削弱测量准确度或溯源性。

以上谐波电能计量技术的引进、国内自主开发成果，适用于稳态、连续的整数次谐波电能计量。国际上，谐波有功、视在电能计量技术，从在线计量产品到计量溯源已经完成配套，但谐波有功、视在功率计量标准没有经过国际比对；谐波无功计量溯源情况，有待查询。

在国内，在线谐波有功、无功计量技术的设计开发很有特点；对在线视在电能计量技术没有引起重视，设计开发尚未启动；谐波电能计量标准还是空白，已经影响国内谐波电能计量技术的应用与发展。

2、谐波电能计量技术的应用

近几年，国内期刊相继发表《非正弦和三相不对称系统中功率的实用计算》、《非正弦情况下无功功率定义的分析》、《冲击负荷对电能计量的影响》、《电功率采样测量技术及其发展概况》等文章，为谐波电能计量技术的发展提供了导向，并推进了谐波电能计量产品的入网试用:2002 年起，谐波无功电能计量成为技术热点；2003 年，谐波有功电能计量技术试用；2005 年，谐波视在电能计量产品进入电力市场。经过多年的运行，已经积累起初步应用经验和调整计量产品结构的思路。

1）谐波无功电能计量技术的应用

—传统无功电能计量方式在应用中出现的问题:

·采用电子式正弦无功电能表计量

a1　基波无功功率计算公式:

$Q1=V1\times I1\times Sin\theta$

a2 IEEE1459---2000 标准定义的谐波无功功率计算公式:（略）

a3　电子式正弦无功表采用电压基波延时 1/4 基波周期，其谐波无功功率计算公式:（略）

由上式分析得到:谐波次数为 5、9、13····4K+1 等奇次谐波相移 90°，加进了这些奇次谐波无功功率，谐波无功计量正确（注:K 为零或大于零的整数）。谐波次数为 2、6、10····4K+2 等偶次谐波相移 180°；3、7、11····4K+3 等奇次谐波相移 270°；4、8、12····4K+4 等偶次谐波相移 360°，这些谐波的无功计量都不正确，最大绝对误差为 2 倍谐波视在功率。

经测试:在电压回路上加 10%、电流回路上加 20%的 3 次谐波，电压、电流谐波初相位均为 30°，由电压基波延时 1/4 基波周期的正弦无功表计量的谐波无功功率，与 IEEE 标准定义的谐波无功功率之间的误差为 4%。

因此，非正弦下采用电子式正弦无功表是不合理计量方式。

注:国产三相标准表，其无功功率大都采用电压基波延时 1/4 基波周期的计量原理。

·按功率三角形计算的无功功率计量方式

在谐波存在时，将产生附加误差。经测试:电压回路上加 10%、电流回路上加 20%的 3 次谐波，电压、电流谐波初相位均为 30°，由功率三角形计算的谐波无功功率与 IEEE 标准规定的谐波无功功率之间的误差为 1.9%。

·采用余弦感应式无功表计算谐波无功功率，其最大绝对误差为3倍（60°接线）和2倍（90°接线）的谐波视在功率。

·采用3台电子式单相有功表，按跨相90°接线计量谐波无功电能的方法，其计量准确度有待进一步考证。

—采用Hilbert数字滤波器或低频数字滤波器计量谐波无功电能的方法，由于缺乏谐波无功计量标准，其计量准确度暂时无法标定或比较。

—谐波无功电能表只能计量基波无功电能和电压、电流同次谐波的无功电能，因此，限制它的使用范围。全国估计拥有三相无功计量点400万个，包括:实行功率因数计费的用户计量、配电变压器和变电站无功电能计量。其中，大多数情况下是电压基本上正弦，谐波电流含量超标。

2）谐波有功电能计量技术的应用

—三相谐波/基波有功表试用情况:全国估计拥有各类三相有功电能计量点700万个。2003年以来，湖南、山东、东北等电力系统先后试用三相谐波有功表/基波有功表约1500台。经过几年的运行，谐波/基波有功表的读数与传统的三相有功表的读数差别不大，有些计量数据还与预计的相反。初步估计其原因，是计量点上的电压谐波含量不大，或是对谐波有功功率潮流判别不正确。

—谐波有功功率潮流分析方法:经汇总国内期刊和资料，主要有3种分析方法:

·第一种分析方法

a1　发电机发出的基波功率，由谐波源用户将一部分基波电能转换为谐波电能
a2　谐波源用户送出谐波电能，污染了电网，还减少电费支出。
a3　非谐波源用户无奈地吸收谐波电能，增加电费支出。
a4　发电机:谐波电能将降低电网经济效益，影响安全生产。

·第二种分析方法

a1　根据能量守恒定律，谐波能量和基波能量均来自电源点，总能量为两者之和。
a2　由谐波有功功率引起的电能表测量误差基本上是负的。这种观点尚不全面，电能表测量误差的大小，与谐波含量、各次谐波与基波的初相位有关，谐波有功功率潮流对电能计量的影响，需要进一步验证。

·第三种分析方法

a1　非线性负荷可以理解为谐波源，它将一部分正弦电能转换为谐波电能，作为电网垃圾回馈给电网，并从电能计量中扣除这部分电能。
a2　电能计量点上积算的谐波电能是负的，谐波电流在线路阻抗上的损耗电能是正的，作为权宜之计，对这类用户采用基波有功表进行电能计量。

·为推进谐波有功电能计量技术的应用与发展，继续进行基波表还是谐波表之争，具有盲目性:当务之急要统一有功功率潮流分析方法，设计生产谐波有功功率潮流分析仪，提供基波电能，正向、反向的谐波有功电能及其谐波次数、各次谐波幅值、初相位。总的有功电能量如何计算，由电力系统和用户按计量数据自定义。经过多年的计量数据积累，就能提出不同类型的企业，在不同情况下的谐波有功功率潮流方向的判别和总的有功电能计量方法。

—与谐波无功表类似，谐波有功表只能计量基波有功电能和电压、电流同次的谐波电能，因而也限制它的使用范围。全国 315kVA 及以上的大用户估计有 60 万个，电压、电流谐波含量都超标的大型企业不足 5%，但是这些大用户的用电量巨大，由谐波影响有功电能量的波动，每年估计有几十亿 kWh。因此，研究开发动态谐波负荷和冲击负荷的有功电能计量，具有重要的实用意义

3）谐波视在电能计量技术的应用

— IEEE1459---2000 标准规定采用算术算法的谐波视在功率来计算谐波功率因数。其计算公式:
PF=P/S=P/V×I
式中: P---谐波有功功率
S---谐波视在功率，S=V×I

— 100kVA 及以上的用户，实行《功率因数电费调整办法》，全国估计有 300 万户。其中的 95% 用户只是电流谐波含量超标。以计算机批量应用形成的电力畸变负荷为例，采用正弦无功表计量出来的功率因数接近 1.0；采用算术算法的视在电能计算功率因数只有 0.6。两种功率因数算法出入很大。

—按照《功率因数电费调整办法》的规定，根据用户用电容量的不同，额定功率因数有 0.9（大用户）、0.85（中等容量户）两种:用户的实际功率因数高于额定功率因数将受到奖励，减少电费支出；低于额定功率因数将增加电费支出。从功率因数为 1 至 0.65 及以下，用户电费支出的波动幅度达 15%。由此可见，用算术算法的视在功率计算出的功率因数，既符合电力负荷实际情况，又改善电网经营管理。

4）城镇居民用电的谐波计量技术尚待开发

—据抽样测试:家用计算机、彩电、彩显的电源，电压谐波的含量为 6%，3 次谐波电流含量 50%，9 次谐波含量 30%，17 次谐波含量 8%。可见，城镇居民用电的特征，也是电流谐波含量严重超标。

—目前居民用电计费只有有功电能计量方式，要选用采样速率足够高的电子式有功表，计量谐波有功电能。

—为抑制谐波电流过快增长，需要开发适应城镇居民用电特征、简单的在线谐波计量仪表。其主要计量功能:

·电压谐波总含量
·电流谐波总含量
·谐波污染程度=非基波视在功率/基波视在功率

—还有，电力系统和电表行业要主动与价格主管部门汇报与沟通，建议居民用电逐步按视在电能量计费，有利于降低家用电器的谐波含量，节约能源，净化电磁环境。同时，要进行单相和三相视在电能表产品设计的可行性研究。

总结以上入网试用的经验，就是谐波电能计量技术与产品如何进入电力市场，主要是贴近电力负荷实际，适应电力营销和经营管理改进的需要。目前，谐波有功电能计量的一些基本问题还有争议，谐波无功计量标准技术正在探索，只有谐波视在电能计量和谐波功率因数计算将可能成为进入电力市场的切入点。还有，城镇居民用电的谐波计量，应该提到议事日程。

3、谐波电能计量前沿实用技术的开发

在电网的用户端，实际电力负荷的构成不仅仅是稳态、连续的整数次谐波负荷，具体情况要复杂得多。例如:大型炼钢电弧炉的无功负荷急极波动,引起电网电压急极波动,其波动频率为 1---15Hz，3 次谐波电流含量 30%以上，负序电流最大为 86%，功率因数最低达 0.1；大容量的交流---交流变频同步电机，其谐波电流含量 18%，间谐波和次谐波 0.3 次、3.7 次、9.7 次等电流谐波含量都大于 2%，还出现 23 次、25 次谐波电流，这些用电负荷的复杂情况，需要采用谐波电能计量前沿实用技术才能解决。对此，近几年国内已经提出一些谐波电能计量前沿实用课题，并从理论上研究取得初步成果:

1）冲击负荷电能计量理论与算法

—应用广义功率理论，定义任意波形的单相和三相电路的功率
—应用正弦电路功率理论、传统非正弦电路功率理论和广义功率理论，进行冲击负荷的有功功率、无功功率、视在功率、畸变功率、三相不对称功率电能的计算。

2）采用小波变换的谐波和有功、无功电能计量方法

—小波变换具有良好的时---频特性，采用多相 IIR 巴特沃斯小波滤波器组的谐波分析方法，解决非稳态谐波的定性和定量的分析问题。

—经模拟信号与实际信号的功率测量，采用小波变换的多相滤波器组测量有功、无功功率的精度在 10-5 数量级。

3）采用短时 FFT 变换进行间谐波测量

—测量 0---2500Hz 电压间谐波的有效值、相位、谐波含量；0---2500Hz 电流间谐波的有效值、相位、谐波含量、方向。
—基波相位精度:±0.5°，测量范围:0---360°。

4）分数次谐波分析法

从时域构造一类新的窗函数谐波分析法:经仿真实验，加双汉宁窗时，强谐波信号的幅值相对误差为 10-4 数量级，相位绝对误差优于 0.003°；弱谐波信号的幅值相对误差达 3.4%，相位绝对误差为 2.4°，远优于目前的加窗插值谐波分析算法。

5）国内期刊上还发表的相关文章有:《用小波变换测量功率因数》、《基于连续小波变换的非整数次谐波测量方法》等。

以上这些谐波电能计量前沿实用课题，不仅采用传统的 FFT、短时 FFT 变换及其改进算法，还引入广义功率理论、小波变换等新技术，来解决这些复杂的计量问题。这些前沿实用计量课题，需要进行后续研究与开发，将理论研究初步成果转换为在线计量产品、测试仪器或计量标准设备。

4、总结语

国内谐波电能计量技术经过短短几年的入网试用，取得初步成果，这就是探索到谐波电能计量技术应用与发展的途径，看到与国际上同类计量产品技术的差别与差距。下一步，要深化谐波计量产品设计改进，为扩大试用作准备，其前提条件是国内要推出品质可靠、电力适用的谐波有功、无功、视在电能计量系列产品，并可以进行计量溯源:重点要抓紧谐波视在电能和谐波功率因数实用化产品设计，谐波有功功率潮流分析技术，动态谐波负荷、冲击负荷的电能计量技术，改善与提高交流采样功率测量法的动态特性等研究开发；对于谐波无功功率，要深入研究谐波对无功电能表的影响，多方位探索谐波无功功率计量准确度检定的过渡措施；谐波电能计量标准建设方面，全面加强计量标准自主设计开发，引进国内缺门、急需的国际先进的计量标准设备。作为第一步，先推出谐波功率计量工作标准，适应谐波电能计量技术应用与发展的需要。同时，要调查电力系统的谐波分布情况，估计市场容量，明确谐波电能计量技术应用与发展的目标，搞好应用与发展规划，包括谐波电能计量前沿实用课题的规划。

最后，需要指出:谐波电能计量入网试用，只是起步阶段，再经过扩大试用、推广应用，到全面完成从正弦计量向非正弦电能计量技术的转化，代表了电能计量技术一个方面的发展趋势，但其全过程是漫长的。有关市场拓展前景，预计谐波视在电能计量和谐波功率因数计算技术会先期应用，谐波有功、无功电能计量技术的应用，将在扩大试用后逐步明朗。

二、2005 年后，谐波电能计量技术后续发展重点课题的研究成果:

1、2006 年 6 月，清华大学学者:《基于 2 对 Hilbert 移相滤波器的谐波无功功率测量方法》

2、2007 年 9 月，中国计量院:《工频谐波功率标准研究》

— 2008 年 10 月，中国计量院:《周期信号采样测量策略》

3、2010 年，威胜集团公司推出中国首款 DTSD 341---9ZV1.0 型高精度冲击性负荷三相多功能电能表

4、2010 年 4 月，原河南思达高科技公司:《ST 1000 0.01 级三相标准电能表的研制》指出:”畸变波可分解为一系列正弦矢量的代数和，故畸变波有功功率、无功功率算法，为各次谐波功率算法的代数和”。”采用傅氏算法的计算精度取决于数字离散序列的积分精度，由于 ST 1000 采用的是定采样频率的异步采样，所以所有的整周期采样的简化积分公式都不再适用，需要采用一种新的算法来提高异步采样的积分精度”。

5、2011 年 3 月，浙江省计量院、中国计量院:《电能表动态特性实验研究》

6、清华大学学者、攀枝花钢铁公司:《谐波相位对入网谐波影响的测试与研究》

7、国际上，谐波功率计量新技术参考

1）2010 年，IEEE1459---2010 标准推出，用于替代 IEEE1459---2000 标准。

2）2012 年前后，美国 GE 公司推出 KV2c™型三相多功能电能表，具有畸变功率和谐波功率因数计算功能。

三、2018 年的期望

由前面的叙述可以看到:从 2002---2010 年，国内谐波电能计量技术应用与发展的热度一直较高，主要表现在:

•有实力的电表企业与省级电网合作开发冲击性负荷/谐波负荷有功电能表，并入网试用。
•高等院校重点研究谐波无功计量方案、算法及仿真技术，并经常在国内/国际的期刊上发表文章。
•某电表企业引进并在国内销售具有谐波视在功率和采用算术算法计算功率因数的电子式三相电能表。

但是，2010 年后，谐波电能计量技术的应用与发展受到制约而降温。分析其主要因素:

•国网计量工作的重点转移到推进智能电能表应用与用电信息采集系统建设上，这是智能配电网发展配套的海量计量工程。

•国网，对重点计量科技项目实施统一规划与全过程管理，包括开发资金管理。大部分省级电网计量中心难以申报或分配到重点计量科技项目。

•很多年以前，中国电科院计量专家向国家计量行政部门反应谐波电能计量技术的争议与电网谐波污染问题，但是一直没有回复；至今，价格主管部门未出台抑制用户谐波污染电网的经济措施。

•国网的智能电能表企业标准规定的计量功能，主要按照现行电价政策的需要设计，很少反应电网多专业应用与电网全面发展需用的计量功能，包括电网线损计算、电网分布式无功平衡、智能配电网电能质量监测、推进抑制谐波负荷增长的经济措施出台。

结语

2018 年或将是科技计量工作的转折年。2017 年，国网实现了智能电能表应用与用电信息采集系统的全覆盖。2018 年初，国网计量工作推进会将安排全年的重点计量新技术开发与计量管理项目，期望对谐波电能计量技术开发与应用提出新的需求，融入高质量智能配电网建设的新征程。

参考文献

[1] 卿柏元(导师：滕召胜) **谐波电能计量改进 FFT 算法研究** 《湖南大学》- 2008-03-20

[2] 孙传奇(导师：滕召胜) **基于小波包变换的谐波电能计量技术研究** 《湖南大学》- 2006-03-18

作者简介： 张春晖 男， (1938-)， 从事电能计量技术研究。
通讯作者： 张震 男， (1977-)， 从事电能计量技术研究 721047546@qq.com